

芝麻香油粉末油脂风味物质研究

黄纪念¹,袁彬^{1,2},孙强¹,张丽霞¹,芦鑫¹,宋国辉¹

(1. 河南省农业科学院 农副产品加工研究中心, 郑州 450002; 2. 河南农业大学 食品科学技术学院, 郑州 450002)

摘要:为考察芝麻香油粉末油脂制备方法对风味物质的影响,采用固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术对芝麻香油及其冷冻干燥法和喷雾干燥法制备的粉末油脂中风味物质进行了分析。结果表明:粉末油脂制备过程的加热对芝麻香油风味产生了较大的影响,既造成了风味物质的挥发、损失,又衍生出新的物质;冷冻干燥法制备的粉末油脂风味物质稍有变化;喷雾干燥法制备的粉末油脂除醛类相对稳定外,烃类产生新的衍生物,醇类、酯类、酚类明显减少,吡嗪类未检出,酸类物质显著增加。可见,冷冻干燥法制备粉末油脂更适用于风味要求高、易挥发的芝麻香油产品。

关键词:芝麻香油;粉末油脂;风味物质;气相色谱-质谱联用

中图分类号:TS225.1;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)03-0059-06

Flavor components in sesame oil powder

HUANG Jinian¹, YUAN Bin^{1,2}, SUN Qiang¹, ZHANG Lixia¹,
LU Xin¹, SONG Guohui¹

(1. Agricultural and Sideline Products Processing Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to investigate the effect of preparation methods of sesame oil powder on flavor compounds, the flavor compounds in sesame oil and sesame oil powder prepared by freeze drying method and spray drying method were analyzed by solid phase microextraction (SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that heating process in preparation of oil powder had great influence on the flavor of sesame oil, which not only caused the volatilization and loss of flavor components, but also derived new substances. The flavor components of oil powder prepared by freeze drying method slightly changed. In addition to the relatively stable aldehydes, hydrocarbons produced new derivatives, alcohols, esters and phenols significantly decreased, pyrazine was not detected, and the acidic compound increased significantly in oil powder produced by spray drying method. Preparation of sesame oil powder by freeze drying method was more suitable for sesame oil products with high demand for flavor and volatile flavor.

Key words: sesame oil; oil powder; flavor component; gas chromatograph-mass spectrometer

芝麻香油营养成分丰富,含有人体必需的脂肪

酸、植物甾醇、维生素 E 和木酚素等,因香味浓郁,通常用作调味油,深受消费者喜爱^[1-2]。由于芝麻香油富含不饱和脂肪酸尤其是多不饱和脂肪酸,易氧化酸败,破坏油中原有营养物质及风味物质^[3-4]。

目前,对于粉末油脂微胶囊的研究比较多,常用的制备方法主要有喷雾干燥法、冷冻干燥法、凝聚法、挤压法等^[5]。其中,喷雾干燥法适用于水包油型产品的微胶囊化,芯材物质的憎水性越高,壁材物质的亲水性越高,包埋效果越好^[6],喷雾干燥

收稿日期:2017-07-20;修回日期:2017-09-08

基金项目:河南省重点科技攻关项目(162102110058);国家特色油料产业技术体系(CARS-14)

作者简介:黄纪念(1971),男,研究员,博士,研究方向为油料加工及副产物利用(E-mail)jiagongsuo@163.com。

通信作者:孙强,副研究员,硕士(E-mail)qiangsunxy@126.com。

法操作过程灵活,产品具有良好的质量、产品成本价格低廉使其成为食品加工中常用的微胶囊化方法;真空冷冻干燥法适用于对热、氧气敏感型芯材油脂^[7]。

芝麻香油粉末油脂是采用微胶囊技术加工而成的水包油型产品,由于芝麻香油被壁材所包埋,赋予了其流通性好、稳定性好、分散性好、营养全面等特点,从而更有利于芝麻香油的储存利用^[8],越来越受到关注。而风味物质是影响芝麻香油粉末油脂品质好坏的重要因素。固相微萃取(SPME)技术是一种操作简单而且具有高效的样品前处理与富集技术,具有经济节约、准确率高、选择性好、实用性强等特性^[9]。气相色谱与质谱联用被广泛应用于风味物质的分离与鉴定^[10]。本文主要采用固相微萃取结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术对芝麻香油粉末油脂风味物质进行分析,为芝麻香油粉末油脂产品开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

芝麻香油:河南省农业科学院农副产品加工研究中心提供。芝麻香油粉末油脂:实验室分别用真空冷冻干燥法和喷雾干燥法制备。

7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪:美国 Agilent 公司;固相微萃取手柄、85 μm CAR/PDMS 萃取头:美国 Supelco 公司;MAS-II 型常压萃取反应工作站;DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器。

1.2 实验方法

1.2.1 样品中挥发性成分的萃取

固相微萃取的纤维头在第一次使用之前,要在气相色谱的进样口老化 1 h,老化温度 270 $^{\circ}\text{C}$,以后每次使用前,在进样口 240 $^{\circ}\text{C}$ 中活化 30 min。取少

量芝麻香油及其粉末油脂,放入 20 mL 萃取瓶中,盖上瓶盖后放入水浴锅中磁力搅拌,60 $^{\circ}\text{C}$ 下平衡 20 min,之后再将萃取头穿过聚四氟乙烯隔垫插入萃取瓶中,推出纤维头在 60 $^{\circ}\text{C}$ 吸附 40 min,纤维头下端与芝麻香油液面保持 1 cm 的距离。待吸附结束后,首先缩回纤维头,再把萃取头从萃取瓶中拔出,然后将萃取头直接插入气质联用仪的前进样口,推出纤维头解吸 5 min,同时启动仪器采集数据。

1.2.2 气相色谱条件

色谱柱:HP-5MSPhenylMethylSilox (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm),进样口温度 240 $^{\circ}\text{C}$ 。升温程序:起始温度 30 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,然后以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 7 min。载气:高纯氦气;流速 0.8 mL/min;不分流,无溶剂延迟。

1.2.3 质谱条件

电离方式为离子源电子电离,电子能量 70 eV,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$,四极杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$,质谱接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,质量扫描范围 30 ~ 550 u。

1.2.4 挥发性化合物鉴定与相对含量确定

样品中的挥发性成分经气相色谱-质谱分析检测得到总离子流图后,采用 NIST08LIB 质谱图库对检测到的风味物质进行匹配检索,并结合文献、查阅资料进行图谱分析,取相似度不小于 800 的确定为该化合物。采用面积归一化法,根据样品中各风味物质积分峰面积占总挥发性风味物质峰面积的百分比计算每种组分相对含量。

2 结果与分析

2.1 芝麻香油及其粉末油脂风味成分分析

分别取 2 g 芝麻香油和芝麻香油粉末油脂,经固相微萃取和气相色谱-质谱分析结果见表 1。

表 1 芝麻香油及其粉末油脂风味成分种类和相对含量

风味成分	芝麻香油		冷冻干燥粉末油脂		喷雾干燥粉末油脂	
	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%
醇类	7	14.22	5	11.28	5	8.03
醛类	8	40.09	8	40.84	8	44.33
烃类	14	16.04	14	21.97	10	14.66
酯类	7	8.25	5	7.30	4	6.89
吡嗪类	3	4.69	2	2.32	0	0
酚类	2	2.30	2	2.49	1	1.32
酮类	2	5.72	3	3.93	2	7.73
呋喃类	1	6.49	1	5.54	1	5.84
酸类	1	0.92	2	3.77	1	9.98
其他	2	1.28	1	0.56	1	1.22
合计	47	100	43	100	33	100

从表1可以看出,芝麻香油共检出47种风味化合物,冷冻干燥法制备的粉末油脂共检出43种风味化合物,喷雾干燥法制备的粉末油脂共检出33种风味化合物,都以醛类、烃类、醇类、酯类、酮类、呋喃类为主,尤以醛类化合物最多,相对含量占总风味成分的40%以上。但这3种样品中各种风味成分含量差别较大,其中吡嗪类风味成分在芝麻香油及其冷冻干燥法制备的粉末油脂中分别有3种和2种,相对含量分别达4.69%和2.32%,却在喷雾干燥法制备的粉末油脂中未被检出。酸类风味成分在喷雾干燥法制备的粉末油脂中的相对含量高达9.98%,在冷冻干燥法制备的粉末油脂中相对含量为3.77%,在芝麻香油样品中仅为0.92%。烃类物质在冷冻干燥法制备的粉末油脂中有14种,其相对含量为21.97%;在芝麻香油中也有14种,但其相对含量仅为16.04%;在喷雾干燥法制备的粉末油脂中的种

类及相对含量最少,分别为10种和14.66%。此外,芝麻香油及其冷冻干燥法制备的粉末油脂的峰面积相近,且远大于喷雾干燥法制备的粉末油脂的峰面积。产生这些现象可能与芝麻香油粉末油脂的加工过程有关,制备过程中的持续加热,一方面导致某些不耐高温的脂类物质发生氧化,产生更多的酸类、酮类和醇类物质,一方面导致芝麻香油风味化合物挥发。这可能是芝麻香油粉末油脂的风味化合物种类减少而酸类化合物增加的原因。尤其是喷雾干燥法制备的粉末油脂,在进风温度184℃、出风温度82℃的高温条件下导致芝麻香油风味化合物挥发比较严重,使得其风味化合物的种类和含量远低于芝麻香油及其冷冻干燥法制备的粉末油脂,酸类化合物相对含量远高于芝麻香油及其冷冻干燥法制备的粉末油脂。

2.2 芝麻香油及其粉末油脂风味成分比较(见表2)

表2 芝麻香油及其粉末油脂风味成分相对含量

风味成分	芝麻香油	冷冻干燥粉末油脂	喷雾干燥粉末油脂	%
醇类				
1-戊醇	2.62	-	1.43	
1-辛烯-3-醇	4.63	4.43	3.09	
2-乙基-1-己醇	3.16	2.89	2.08	
3-呋喃甲醇	1.57	-	-	
2-丙基-1-庚醇	1.05	-	-	
2-辛烯-1-醇	0.71	-	-	
顺-2-辛烯-1-醇	-	0.62	-	
6-甲基-1-庚醇	0.48	0.48	-	
乙醇	-	2.86	-	
1-己醇	-	-	0.50	
3,5,11,15-四甲基-1-十六碳烯-3-醇	-	-	0.93	
醛类				
己醛	19.62	21.80	23.75	
庚醛	1.34	1.78	0.63	
顺-2-庚烯醛	2.69	1.91	2.01	
苯甲醛	2.21	1.60	1.56	
辛醛	2.90	2.50	1.22	
壬醛	10.18	9.83	13.41	
2-丁基-2-辛烯醛	0.71	1.10	1.21	
顺-2-壬烯醛	0.44	0.32	-	
5-乙基环戊-1-烯甲醛	-	-	0.54	
烃类				
3-乙基辛烷	0.51	0.46	-	
戊基环氧乙烷	0.42	-	0.46	
3-甲基壬烷	3.10	2.92	-	
3-亚甲基壬烷	0.87	-	-	
2,6,8-三甲基癸烷	0.88	0.85	-	
3,7-二甲基壬烷	0.43	-	-	
3-甲基-十一烷	0.43	0.47	-	
十一烷	0.42	0.32	-	

续表 2

风味成分	芝麻香油	冷冻干燥粉末油脂	喷雾干燥粉末油脂	%
十二烷	2.61	2.63	3.20	
十三烷	3.95	4.42	5.20	
十四烷	0.63	0.75	0.93	
十五烷	0.53	0.55	1.17	
十六烷	-	0.18	0.32	
癸烷	-	6.34	-	
2-甲基癸烷	-	0.35	-	
4-甲基癸烷	-	-	1.32	
2,2,7,7-四甲基辛烷	-	-	0.64	
顺-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯	0.64	-	-	
2,6-二甲基-6-(4-甲基-3-戊烯基)- 双环[3.1.1]庚-2-烯	-	0.17	-	
乙苯	-	1.56	-	
苯乙烯	-	-	0.76	
1,3-二甲基苯	0.62	-	0.66	
酯类				
2-苯基己酸乙酯	3.19	2.68	1.80	
己酸甲酯	3.20	2.51	1.25	
十二烷基丁酸酯	0.64	-	-	
戊二酸二丁酯	0.18	-	-	
十四酸甲酯	0.22	-	0.84	
十六烷酸甲酯	0.63	-	3.00	
十五烷基溴乙酸酯	0.19	0.28	-	
丁酸甲酯	-	0.99	-	
4-羟基-4-甲基己-5-烯酸叔丁酯	-	0.84	-	
吡嗪类				
甲基吡嗪	1.28	-	-	
2,5-二甲基吡嗪	3.02	1.94	-	
2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	0.39	-	-	
3-乙基-2,5-二甲基-吡嗪	-	0.38	-	
酚类				
2-甲氧基苯酚	2.06	1.91	-	
2-甲氧基-4-乙基苯酚	0.24	0.58	-	
3-甲氧基苯酚	-	-	1.32	
酮类				
3-辛烯-2-酮	3.07	2.67	-	
1-(1H-吡咯-2-基)-乙酮	2.65	0.86	-	
2-(5-氧代己基)-环戊酮	-	0.40	-	
反-3-烯酮-2-酮	-	-	4.85	
6-(羟基-苯基-甲基)-2,2-二甲基-环己酮	-	-	2.88	
呋喃类				
2-戊基呋喃	6.49	5.54	5.84	
酸类				
己酸	0.92	2.18	-	
反-2-烯酸	-	1.59	9.98	
其他				
甲氧基苯基肟	0.76	-	-	
萘	0.52	-	-	
1-亚甲基-1H-茚	-	0.56	1.22	

芝麻香油的风味主要以脂肪香气为主,醛类物质是脂肪分解或氧化产物,通常表现出脂肪和水果的香味,是风味物质的主要构成部分。其中己醛有类似未成熟的水果香味以及清新的芳草香味,通常用作仿制白酒、干酪、蜂蜜;壬醛具有强烈的扩散性,有类似油脂花腊、玫瑰香气的物质;辛醛带有类似脂肪的油脂气息,一般用作水果味香精;庚醛具有浓郁的果实香气,类似坚果和甜杏的芳香气味^[11];顺-2-庚烯醛是亚油酸的氧化降解产物,具有油脂味和水果香气^[12]。醛类物质感官阈值相对比较低,对芝麻香油及其粉末油脂特征风味贡献比较大。从表2可以看出,醛类物质种类在3种样品中变化不大,仅有顺-2-壬烯醛和5-乙基环戊-1-烯甲醛发生变化,前者在喷雾干燥法制备芝麻香油粉末油脂中未被检出,而后者恰恰相反;但各种物质含量稍有变化;己醛、壬醛在芝麻香油、冷冻干燥粉末油脂和喷雾干燥粉末油脂中相对含量都较高,尤其是己醛相对含量分别高达19.62%、21.80%、23.75%。虽然单从各物质的相对含量看,喷雾干燥法制备的芝麻香油粉末油脂中各物质的相对含量较高,但结合表1、表2中醇类、吡嗪类、酯类等在三类样品中的变化规律,发现实际上无论采用喷雾干燥法还是真空冷冻干燥法制备粉末油脂,醛类物质都相对较稳定。

醇类物质在芝麻香油风味中普遍存在,且种类较多。其中1-辛烯-3-醇是亚油酸氢过氧化物的降解产物,具有蘑菇香、药草香以及油腻的气味,对芝麻油风味起到重要作用;3-呋喃甲醇有类似面包的甜味,焦糖的香味;1-戊醇具有果香和酒香的芳香气味。从表2可以看出,醇类物质在三类样品中变化较大,仅有1-辛烯-3-醇、2-乙基-1-己醇共存于三类样品中,但这2种物质相对含量高低顺序为芝麻香油>冷冻干燥法制备粉末油脂>喷雾干燥法制备粉末油脂;6-甲基-1-庚醇可在芝麻香油及其冷冻干燥法制备粉末油脂中检出,1-戊醇可在芝麻香油及其喷雾干燥法制备粉末油脂中检出;3-呋喃甲醇、2-丙基-1-庚醇、2-辛烯-1-醇仅在芝麻香油中检出,顺-2-辛烯-1-醇、乙醇仅在冷冻干燥法制备粉末油脂中检出,1-己醇、3,5,11,15-四甲基-1-十六碳烯-3-醇仅在喷雾干燥法制备粉末油脂中检出。可见,无论从种类及相对含量上芝麻香油粉末油脂中醇类物质都在减少,且喷雾干燥法制备粉末油脂中减少更多。这可能是粉末油脂制备过程中的持续加热,一方面导致某些不耐高温的脂类物质发生氧化产生了醇类物

质,一方面有可能导致醇氧化形成相应醛^[13]。

烃类是芝麻香油风味物质的重要组成部分。由表2可知,3种样品中烃类物质中绝大多数为烷烃类物质,烯烃类物质仅3种;相对含量都较低,除十二烷、十三烷、3-甲基壬烷、癸烷外,其他烃类物质相对含量基本在1%以下。此外,从烃类物质在三类样品中分布规律可见,3种样品共有成分有4种,2种粉末油脂共有成分有5种,全部为12个碳原子以上的长链烷烃物质;芝麻香油及其喷雾干燥法制备的粉末油脂共有成分有6种,喷雾干燥法制备的粉末油脂独有成分有3种,这类物质基本为环烃或支链烷烃;芝麻香油及其冷冻干燥法制备的粉末油脂共有成分有9种,冷冻干燥法制备的粉末油脂独有成分有4种,皆为10个碳原子左右烃类物质;仅在芝麻香油中检出的烃类物质有3种,皆为相对较短的烃类物质。这说明,粉末油脂制备的加热过程中不但造成短链、稳定性差的烃类风味物质损失,还会导致酯类物质分解不断产生新的烃类物质。

酯类物质作为油脂中重要的风味物质,受热易发生分解或氧化,生成醛酸及其他易挥发的短链次生氧化产物。从表2可以看出,酯类物质在粉末油脂制备过程中变化较大,芝麻香油中7种酯类风味物质只有2-苯基己酸乙酯、己酸甲酯2种物质在2种粉末油脂中都存在,且相对含量减少较大,尤其是喷雾干燥法制备的粉末油脂中减少了50%左右。

吡嗪类物质具有浓郁的烘烤、坚果香、咖啡、肉香等芳香气息,一般是在高温条件下糖、氨基酸、油脂等通过美拉德反应产生的^[14]。但随加热程度加深相对含量有所下降。呋喃类物质带有一种令人愉快的果香味、甜味,通常有坚果气息,是芝麻香油具有特殊风味的重要原因之一^[15]。在芝麻香油及其粉末油脂中变化不大,都只含有2-戊基呋喃,仅在粉末油脂中相对含量略少。

酚类物质通常呈现类似烟熏香和焦香味,对芝麻香油的风味起到了丰满的作用^[16]。芝麻香油及其冷冻干燥法制备的粉末油脂中酚类物质种类及相对含量变化不大,而喷雾干燥法制备的粉末油脂只含有新产生的3-甲氧基苯酚1种酚类物质,这可能是在喷雾干燥法制备粉末油脂的过程中芝麻香油中的木脂素热降解或纤维素与脂肪族化合物的高温热反应或者半纤维素中的支链淀粉热分解产生^[17]。酮类物质具有令人愉快的气味,主要是由氨基酸的降解、多不饱和脂肪酸的热解氧化产生的。3种样品中冷冻干燥法制备的粉末油脂中酮类物质有3种,其中2种与芝麻香油相同,但相对含量低于芝麻

香油;喷雾干燥法制备的粉末油脂中酮类物质发生了变化,产生了2种不同的酮类物质,这可能是由于喷雾干燥法制备粉末油脂过程中高温导致某些氨基酸降解或多不饱和脂肪酸氧化而产生。

此外,3种样品中还存在酸类、甲氧基苯基酚、萘、1-亚甲基-1H-茛。其中芝麻香油含有少量的己酸、甲氧基苯基酚、萘,而制备的粉末油脂中产生了反-2-烯酸、1-亚甲基-1H-茛,尤其是喷雾干燥法制备的粉末油脂中新产生的反-2-烯酸相对含量高达9.98%。这些新物质的产生可能与粉末油脂制备过程中的高温有关。

总结芝麻香油及其粉末油脂中各类风味成分变化规律发现:粉末油脂制备过程的高温,导致芝麻香油部分风味物质挥发,部分脂类、蛋白质等物质发生氧化分解、美拉德反应等衍生新产物;喷雾干燥法制备粉末油脂较冷冻干燥法制备粉末油脂温度高,使得喷雾干燥法制备的粉末油脂风味物质种类、相对含量较冷冻干燥法制备的粉末油脂风味物质变化更显著。

3 结 论

利用微胶囊技术制备芝麻香油粉末油脂,赋予了芝麻香油更好的流通性、稳定性、分散性、耐储性,同时制备过程的加热也对芝麻香油风味产生了较大的影响,既有风味物质挥发、损失,又有新风味物质衍生;冷冻干燥法制备粉末油脂风味物质稍有变化;喷雾干燥法制备粉末油脂除醛类物质相对稳定外,烃类产生新的衍生物,醇类、酯类、酚类明显减少,吡嗪类物质未检出,酸类物质显著增加,新的酸类衍生物反-2-烯酸相对含量高达9.98%。可见,冷冻干燥法制备粉末油脂更适用于风味要求高、易挥发的芝麻香油产品。如何减少粉末油脂风味物质的损失将是今后研究的一个方向。

参考文献:

[1] 刘瑞花,刘玉兰,王丹,等. 吸附脱色对芝麻油中木酚素及维生素E影响的研究[J]. 中国油脂,2014,39(3): 20-24.

[2] 黄纪念,宋国辉,孙强,等. HPLC测定芝麻油中木脂素

类化合物含量研究[J]. 中国粮油学报,2011,26(1): 120-123.

[3] 左青,左晖. 论油料油脂质量与安全[J]. 粮食与食品工业,2015,22(1):19-24.

[4] 曹文明,王鑫,包杰,等. 油脂氧化评价研究进展[J]. 粮食与油脂,2013,26(4):1-5.

[5] 王宝琴,徐泽平. 微胶囊化粉末油脂制品的技术研究[J]. 粮油加工,2010(7):8-11.

[6] 何荣海,马海乐. 喷雾干燥法制取大蒜素微胶囊[J]. 食品工业,2004(3):7-8.

[7] 徐振波,梁军,陈丽丽,等. 微胶囊化粉末油脂的研究与应用进展[J]. 食品工业科技,2014,35(5):392-395.

[8] XU J, CHEN S B, HU Q H. Antioxidant activity of brown pigment and extracts from black sesame seed (*Sesamum indicum* L.) [J]. Food Chem,2005,91(1):79-83.

[9] LORENZO J M. Influence of the type fiber coating and extraction time on foal dry-cured loin volatile compounds extracted by solid-phase microextraction (SPME) [J]. Meat Sci,2014,96(1):179-186.

[10] 张义,高蓓,徐玉娟,等. 顶空固相微萃取-气质联用方法分析龙眼中的挥发性化合物[J]. 食品科学,2010,31(16):156-160.

[11] 刘平年. 芝麻油挥发性风味成分的研究[J]. 中国粮油学报,2005,20(6):88-90.

[12] 李会晓,梁晋维,宋莹蕾,等. 控制热氧化芝麻油的脂肪酸组成及挥发性成分分析[J]. 现代食品科技,2016,32(10):276-282.

[13] SIEGMUND B, MURKOVIC M. Changes in chemical composition of pumpkin seeds during the roasting process for production of pumpkin seed oil (Part 2: volatile compounds) [J]. Food Chem,2004,84(3):367-374.

[14] SHAHIDI F. 肉制品与水产品的风味[M]. 李洁,朱国斌,译. 北京:中国轻工业出版社,2001.

[15] 唐晓丹,秦早,杨冉,等. 不同香型芝麻油中挥发性风味成分的研究[J]. 中国油脂,2013,38(6):87-89.

[16] 周瑞宝. 芝麻香油风味成分[J]. 中国粮油学报,2006,21(3):310-315.

[17] PINO J A. Characterisation of volatile compounds in a smoke flavouring from rice husk [J]. Food Chem,2014,153: 81-86.